

Docket No.: MUH-12712

I hereby certify that this correspondence is being deposited with the United States Postal Service with sufficient postage as first class mail in an envelope addressed to: Commissioner for Patents, Alexandria, VA 22313 20231.

By:  Date: September 5, 2003

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant : Winfried Sabisch et al.
Appl. No. : 10/620,570
Filed : July 16, 2003
Title : PVD Method and PVD Apparatus

CLAIM FOR PRIORITY

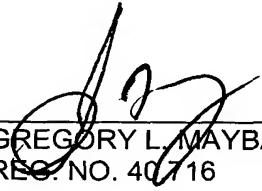
31

Hon. Commissioner for Patents,
Alexandria, VA 22313-1450
Sir:

Claim is hereby made for a right of priority under Title 35, U.S. Code, Section 119, based upon the German Patent Application 102 32 179.5 filed July 16, 2002.

A certified copy of the above-mentioned foreign patent application is being submitted herewith.

Respectfully submitted,


GREGORY L. MAYBACK
REG. NO. 40716

Date: September 5, 2003

Lerner and Greenberg, P.A.
Post Office Box 2480
Hollywood, FL 33022-2480
Tel: (954) 925-1100
Fax: (954) 925-1101

/mjb

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 102 32 179.5

Anmeldetag: 16. Juli 2002

Anmelder/Inhaber: Infineon Technologies AG, München/DE

Bezeichnung: PVD-Verfahren und PVD-Vorrichtung

IPC: C 23 C, H 01 J

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 8. Juli 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Faust

MÜLLER • HOFFMANN & PARTNER – PATENTANWÄLTE

European Patent Attorneys – European Trademark Attorneys

Innere Wiener Strasse 17
D-81667 München

Anwaltsakte: 12190

Ko/Sei/gr

Anmelderzeichen: 2002P07208
(2002 E 07187 DE)

16.07.2002

Infineon Technologies AG

St.-Martin-Straße 53
81669 München

PVD-Verfahren und PVD-Vorrichtung

Beschreibung

PVD-Verfahren und PVD-Vorrichtung

- 5 Die Erfindung betrifft ein PVD-Verfahren sowie eine PVD-Vorrichtung, insbesondere zur Durchführung des PVD-Verfahrens.

Es sind verschiedene Verfahren zum Abtragen oder Aufbauen von Materialschichten bekannt. So werden z. B. in der Halbleiterindustrie häufig sogenannte PVD-Verfahren eingesetzt (PVD: physical vapor deposition). Grundsätzlich handelt es sich dabei um ein Verfahren der Plasmaentladung, bei welchem in einem Prozessgas zwischen zwei Elektroden über ein angelegtes elektrisches Feld Prozessgasionen erzeugt und dann weiter über das elektrische Feld auf ein Target eines auf einem Substrat abzuscheidenden Materials hin beschleunigt werden. Aufgrund der Bewegungsenergie der beschleunigten Prozessgasionen schlagen diese beim Auftreffen auf dem Target aus diesem Targetbestandteile heraus, welche ihrerseits zu dem dem Target gegenüberliegenden Substrat gelangen und sich dort abscheiden.

Zur Verbesserung der Abscheidungsraten und -ausbeuten wird die Plasmadichte über dem Target dadurch erhöht, dass im Bereich des Targets zusätzlich zum elektrischen Feld ein Magnetfeld aufgebaut wird. Dieses Magnetfeld - man spricht dann auch vom sogenannten Magnetronsputtern - reduziert auch den Ladungsträgerverlust, insbesondere den Elektronenverlust. Zur Verbesserung der Gleichmäßigkeit des Abtragens von Targetmaterial am Target wird das Magnetfeld in Bezug auf das Target in Rotation versetzt, so dass sich ein gleichmäßiger Abtrag an Targetmaterial ergibt.

Problematisch beim Magnetronspattern mit Magnetfeldern ist, dass sich aufgrund der Relativbewegung der Prozessgasen zum Magnetfeld und der daraus resultierenden geschwindigkeitsabhängigen Lorentzkraft eine Asymmetrie der Bewegung der
5 zum Target hin beschleunigten Prozessgasen zur Richtung der Normalen oder Senkrechten auf der Targetoberfläche ergibt.

Das bedeutet, dass die Winkelverteilung der auf der Targetoberfläche auftreffenden Prozessgasen in Bezug auf die Normale der Targetoberfläche nicht mehr symmetrisch ist. Vielmehr stellt sich eine Vorzugsrichtung in Richtung der Bahnbewegung der Lorentzablenkung ein. Das bedeutet, dass die Prozessgasen vorzugsweise in Richtung der Bahngeschwindigkeit
15 oder der Lorentzablenkung auf der Targetoberfläche auftreffen. Entsprechend ist auch der Abtrag an Targetbestandteilen nicht mehr symmetrisch zur Normalen der Targetoberfläche. Die Targetbestandteile eilen der Targetoberfläche ebenfalls bevorzugt in Richtung der Bahngeschwindigkeit oder Lorentzablenkung davon.
20

Dies führt zu Asymmetrien auch beim Materialauftrag auf der Substratoberfläche und somit zu systematischen Fehlern bei dem Aufbau von Strukturen im Mikrobereich.

25

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein PVD-Verfahren sowie eine PVD-Vorrichtung zu schaffen, bei welchen auf besonders einfache Art und Weise ein möglichst hoher und symmetrischer Materialabtrag am Target und ein möglichst hoher und
30 symmetrischer Materialauftrag am Substrat erreichbar sind.

Gelöst wird die Aufgabe durch ein PVD-Verfahren erfindungsgemäß mit den kennzeichnenden Merkmalen des Anspruchs 1. Die Aufgabe wird ebenfalls gelöst durch eine PVD-Vorrichtung er-

findungsgemäß mit den kennzeichnenden Merkmalen des Anspruchs 8. Vorteilhafte Weiterbildungen des erfindungsgemäßen PVD-Verfahrens und der erfindungsgemäßen PVD-Vorrichtung sind jeweils Gegenstand der abhängigen Unteransprüche.

5

Das erfindungsgemäße PVD-Verfahren weist zunächst einen Schritt des Bereitstellens eines Targetbereichs und eines Substratbereichs in einem Prozessbereich auf. Ferner wird zwischen dem Targetbereich und dem Substratbereich ein elektrisches Feld ausgebildet. Ionisierte Prozessgasbestandteile werden auf den Targetbereich beschleunigt. Beim Auftreffen werden dabei durch die ionisierten und beschleunigten Prozessgasbestandteile Targetbestandteile herausgeschlagen und teilweise auf dem Substratbereich abgeschieden. Bei diesen Vorgängen wird erfindungsgemäß ein Magnetfeld zumindest im Bereich des Targetbereichs und/oder des Substratbereichs erzeugt und insbesondere um eine den Targetbereich und den Substratbereich verbindend durchmessende Achse oder Symmetrieachse als Rotationsachse rotiert. Es werden dabei nicht verschwindende Magnetfelder verwendet, deren vektorielle Summe im zeitlichen Mittel im Wesentlichen verschwindet. Dadurch ergibt sich eine symmetrische Winkelverteilung auf das Target auftreffender Prozessgasionen.

25 Dies kann auf verschiedene Arten und Weisen realisiert werden, z. B. durch eine interne Bewegung des Feldes selbst, z. B. durch eine Rotation außerhalb der eigentlichen Rotationsachse, durch ein Umpolen oder Abändern der Anordnung der Felder oder dergleichen.

30

Es ist deshalb vorgesehen, dass gemäß einer bevorzugten Ausführungsform des PVD-Verfahrens als Magnetfeld eine Kombination aus mindestens einer ersten Magnetfeldkomponente und mindestens einer zweiten Magnetfeldkomponente verwendet wird

und dass die erste und die zweite Magnetfeldkomponente zueinander direkt entgegengesetzt polarisiert oder ausgerichtet, ansonsten aber im Wesentlichen gleich ausgebildet sind oder werden. Durch die Kombination der ersten und zweiten Magnetfeldkomponenten wird dann insgesamt das eigentliche zu appli-

5 zierende Magnetfeld erzeugt.

Gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform werden dabei die einzelnen Magnetfeldkomponenten zur Kombination des gesamten äußeren Magnetfelds gleichzeitig verwendet und/oder erzeugt.

Zum Beispiel kann es bevorzugterweise vorgesehen sein, dass die Magnetfeldkomponenten in Bezug auf die Rotationsachse des gesamten Magnetfelds diametral gegenüber liegend und asymmet-

15 risch zueinander erzeugt und/oder angeordnet sind oder werden. Zum Beispiel kann auf der einen Seite der Rotationsachse des Magnetfelds an einer ersten Position eine Kombination aus Nordpol und Südpol ausgebildet sein, während diametral gegen-

20 über liegend eine entsprechende Kombination aus Südpol und Nordpol ausgebildet ist, so dass sich in Bezug auf die Rotationsachse Nordpol und Südpol der Magnetfeldkomponenten direkt gegenüberstehen.

Bei einer anderen Ausführungsform des erfindungsgemäßen PVD-Verfahrens ist es vorgesehen, dass die Magnetfeldkomponenten nicht gleichzeitig, sondern zeitlich getrennt voneinander erzeugt, angeordnet und/oder zur Wirkung gebracht sind oder werden. Das kann z. B. bedeuten, dass zunächst die eine Kom-

25 ponente für eine bestimmte Zeitspanne verwendet wird und dann nachfolgend die andere Komponente, welche der ersten entgegengesetzt polarisiert ausgebildet ist, für eine andere Zeitspanne verwendet wird.

30

Dabei ist es vorteilhaft, dass erste und zweite Zeitspannen der getrennten Verwendung und/oder Erzeugung der ersten und der zweiten Magnetfeldkomponenten jeweils einzeln und/oder in ihrer jeweiligen Summe in etwa zueinander gleich gewählt werden. Durch die in etwa zeitlich gleiche Erzeugung und/oder Applikation entgegengesetzt polarisierten Magnetfeldkomponenten wird gerade die zeitliche Mittelung zur Erzeugung eines in der vektoriellen Summe verschwindenden Magnetfeldes verwirklicht.

Bei einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen PVD-Verfahrens ist es vorgesehen, dass die zweite oder erste Magnetfeldkomponente jeweils aus der ersten bzw. zweiten Magnetfeldkomponente durch Umpolen, Umdrehen und/oder Anordnen einer jeweils verwendeten Magnetfeldeinrichtung erzeugt werden.

Bei der vorrichtungsmäßigen Lösung der der Erfindung zugrundeliegenden Aufgabe im Rahmen einer PVD-Vorrichtung, insbesondere zur Durchführung des erfindungsgemäßen PVD-Verfahrens sind ein Targetbereich und ein Substratbereich vorgesehen, welche in einem Prozessbereich mit einem Prozessgas räumlich zueinander beabstandet angeordnet sind, und zwischen denen ein elektrisches Feld erzeugbar ist. Des Weiteren ist eine Magnetfeldeinrichtung vorgesehen, durch welche ein Magnetfeld zumindest im Bereich des Targetbereichs und/oder des Substratbereichs erzeugbar ist und welche insbesondere um eine den Targetbereich und den Substratbereich verbindend durchmessende Achse oder Symmetrieachse als Rotationsachse rotierbar ist, wobei durch die Magnetfeldeinrichtung das Magnetfeld außerhalb der Rotationsachse des Magnetfeldes in Sektoren oder Bereichen des Targetbereichs und/oder des Substratbereichs zumindest im zeitlichen Mittel im Wesentlichen verschwindend ausbildbar ist.

Es ist somit eine Kernidee der erfindungsgemäßen PVD-Vorrichtung, die Magnetfeldeinrichtung derart auszubilden, dass durch diese das Magnetfeld außerhalb der Rotationsachse in
5 Bereichen oder Sektoren des Targetbereichs und/oder des Substratbereichs erzeugbar ist, welches, wiederum zeitlich gemittelt, im Wesentlichen verschwindend ausbildbar ist.

10 Dazu ist es vorgesehen, dass die Magnetfeldeinrichtung zur Erzeugung von mindestens einer ersten Magnetfeldkomponente und mindestens einer zweiten Magnetfeldkomponente derart ausgebildet ist, dass die Magnetfeldkomponenten zueinander direkt entgegengesetzt polarisiert, ansonsten aber im Wesentlichen gleich ausbildbar sind.

15 Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen PVD-Vorrichtung ist es vorgesehen, dass die Magnetfeldeinrichtung mindestens eine erste und mindestens eine zweite Magneteinrichtung aufweist. Durch diese werden insbesondere die erste Magnetfeldkomponente bzw. die zweite Magnetfeldkomponente erzeugt.
20

Bei einer anderen bevorzugten Ausführungsform ist es vorgesehen, dass die ersten und zweiten Magnetfeldeinrichtungen zueinander entgegengesetzt polarisiert oder polarisierbar ausgebildet, angeordnet oder anordenbar sind. Das heißt, die entgegengesetzte Polarisierung der Magnetfeldkomponenten kann durch ein Anordnen oder Ändern der Anordnung der Magneteinrichtung geschehen oder durch ein Umpolen der Magneteinrichtungen als solche, oder durch ein entsprechendes Beschalten
25
30 mit einer Verteilung felderzeugender elektrischer Ströme.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen PVD-Vorrichtung ist es vorgesehen, dass die er-

sten und zweiten Magneteinrichtungen in Bezug auf die Rotationsachse diametral gegenüberliegend angeordnet sind.

5 Ferner kann es vorgesehen sein, dass die Magnetfeldeinrichtung um die Rotationsachse rotierbar ausgebildet ist, insbesondere oberhalb des Targetbereichs außerhalb des Prozessbereichs. Alternativ dazu kann die Magnetfeldeinrichtung auch stationär angeordnet sein und sich die Magnetfeldrotation durch ein entsprechendes Ansteuern oder Beschalten der Magnetfeldeinrichtung ergeben.

Bei einer weiteren Ausführungsform ist es vorgesehen, dass eine einzige Magneteinrichtung ausgebildet ist, dass die Magneteinrichtung um eine Körperachse der Magneteinrichtung zu-
15 mindest zwischen einer ersten und einer zweiten Stellung bewegbar oder rotierbar ausgebildet ist und dass in der ersten Stellung eine erste Magnetfeldkomponente und in der zweiten Stellung eine zweite Magnetfeldkomponente erzeugbar sind, wobei die Magnetfeldkomponenten zueinander direkt entgegengesetzt polarisiert sind.
20

Dabei ist es insbesondere vorgesehen, dass die Körperachse zur Magnetfeldeinrichtung zur Rotationsachse parallel oder senkrecht ausgebildet ist. Dabei ergibt sich also eine Verschiebung in Richtung der Rotationsachse bzw. senkrecht dazu.
25

Bei einer weiteren Ausführungsform der erfindungsgemäßen PVD-Vorrichtung ist es vorgesehen, dass die Magneteinrichtung und insbesondere die Magneteinrichtungen jeweils eine individuelle Magnetfeldabschirmeinrichtung aufweisen, durch welche
30 das jeweilige Magnetfeld oder die jeweilige Magnetfeldkomponente abschirmbar ist, insbesondere gegenüber dem Targetbereich.

Des Weiteren ist es vorgesehen, dass die Magnetfeldabschirmeinrichtung ein magnetisch hoch permeables Material aufweist, um die Abschirmwirkung besonders günstig zu gestalten.

5

Bei einer weiteren Ausführungsform ist es vorgesehen, dass die Magnetfeldeinrichtung und insbesondere die Magneteinrichtungen in Richtung der Rotationsachse des Magnetfelds verschiebbar ausgebildet sind, insbesondere zwischen einer ersten und dem Targetbereich angenäherten Stelle und einer zweiten dem Targetbereich entfernten Stellung.

Die Magneteinrichtungen können auf verschiedene Arten und Weisen ausgebildet sein. Zum einen kann es sich bei den Magneteinrichtungen um Permanentmagnete handeln. Dabei können
15 dann die entsprechenden Feldgeometrien des gesamten Magnetfeldes und insbesondere der jeweiligen Magnetfeldkomponenten durch die Wahl der Anordnung einzelner Magnete oder durch die Bewegung einzelner Magnete in Bezug auf einander und in Bezug
20 auf den Targetbereich ausgebildet werden.

Andererseits können die Magnetfeldeinrichtung und insbesondere die einzelnen Magneteinrichtungen auch als Anordnungen stromdurchflossener Leiter, z.B. Spulen, ausgebildet sein.
25 Die jeweilige Geometrie des magnetischen Feldes und deren zeitliche Änderung kann dann bewerkstelligt werden entweder wiederum durch die Bewegung oder Anordnung der stromdurchflossenen Leiter oder Spulen gegeneinander, zusätzlich oder alternativ durch die Art und Weise des Beaufschlagens der
30 stromdurchflossenen Leiter mit elektrischen Strömen. Durch eine entsprechende Beschaltung und Steuerung der Anordnung stromdurchflossener Leiter kann dann, z.B. ohne dass die stromdurchflossenen Leiter ihre Lage zueinander oder zum Tar-

getbereich ändern, ein sich drehendes Magnetfeld erzeugt werden.

5 Weitere Aspekte der Erfindung ergeben sich aus den nachfolgenden Bemerkungen:

10 Zum Deponieren unterschiedlichster Schichten in der Halbleiterindustrie wird oftmals ein PVD-Prozess (physical vapor deposition) verwendet. Dabei handelt es sich z. B. um eine DC-Plasma-Entladung. Es werden z. B. auf ein metallisches Target hin Ionen beschleunigt, die aufgrund ihrer kinetischen Energie Bestandteile aus dem Target herausschlagen oder sputtern. Diese Bestandteile deponieren nach einem möglichst stoßfreien Transport durch eine Kammer auf einem Substrat.

15

In Abänderung des reinen PVD-Verfahrens existieren fortentwickelte Verfahren, bei denen ein Teil z. B. der Metallatome nachionisiert wird, so dass zusätzlich zum metallischen Neutralteilchenstrom auch ionisiertes Metall das Substrat erreicht. Um eine höhere Plasmadichte zu erreichen (höhere Sputterraten), wird oberhalb des Targets ein Magnet angebracht (Magnetronmagnet), der u. a. den Elektronenverlust reduziert und dadurch eine erhöhte Plasmadichte unterhalb dieses Magneten erzeugt. In heute kommerziell erwerblichen Anlagen rotiert der Magnetronmagnet oberhalb des Targets, wodurch ein gleichmäßiger Abtrag am Target bewirkt wird.

25

30 Die Gasionen werden im elektrischen Feld in Richtung Target beschleunigt. Zusätzlich wirkt das Magnetfeld auf die Gasionen und verursacht eine Ablenkung dieser in Richtung der Rotation. Die Gasionen treffen somit nicht in Normalenrichtung auf das Target auf. Dies bewirkt eine ebenfalls in Rotationsrichtung asymmetrische Verteilung der gesputterten Metalla-

tome. Für die auf dem Substrat abgeschiedene Schicht bedeutet dies eine Asymmetrie bezüglich der Rotationsrichtung.

5 Bisher wurde keine Vermeidung der oben angesprochenen Problemstellung vorgenommen, da als erster Ordnung Effekt zuerst die radiale Asymmetrie in Bezug auf die Rotationsachse auf dem Substrat reduziert wurde. Das Problem der Asymmetrie in Rotationsrichtung tritt aber bei vielen Anwendungen und Strukturen auf und muss in diesem Zusammenhang gelöst werden.

10

Durch diese Erfindung werden neue Strukturen und ein neuer Prozess zur Vermeidung der Asymmetrie in Rotationsrichtung des Magnetronmagneten vorgeschlagen.

15 Die auf das Target beschleunigten Gasionen werden durch die Lorentz-Kraft F_L abgelenkt

20

Abschätzungen für typische Prozessbedingung beim Magnetronspattern ergeben eine Ablenkung der Gasionen von ungefähr 5°. Fig. 2 unten gibt das Ergebnis einer Simulation der Winkelverteilung bei verschiedenen Prozessen wieder. Der Verlauf der gestrichelten Kurve, bei deren Berechnung Magnetronprozessbedingungen angenommen wurden, bestätigt die theoretischen Abschätzungen.

25

30

Die somit schräg auf das Target eintreffenden Gasionen sputtern Metallatome. Fig. 3 zeigt die Vorzugsrichtung der Winkelverteilung der gesputterten Metallatome. Bei schrägem Einfall auf das Target ergibt sich eine Asymmetrie bezüglich der Rotationsrichtung. Zur Vermeidung dieser Asymmetrie werden erfindungsgemäß verschiedene Strukturen und Prozesse, die je-

weils die Modifikation des Magnetronmagneten beinhalten, vorgeschlagen.

5 Durch die Einführung neuer Magnetronmagnete oder die Einführung neuer Prozesse wird die Asymmetrie in Rotationsrichtung des Magnetronmagneten bezüglich der Schichtabscheidung auf einem Substrat reduziert.

10 Fig. 4, 5 und 6 unten zeigen Ausführungsbeispiele der Erfindung. Fig. 4 zeigt einen Magnetronmagneten, der aus zwei Teilen unterschiedlicher Polung besteht. In diesem Fall brennt ein Plasma unter beiden Magneten, wodurch die Sputterrate erhöht wird.

15 Fig. 5 zeigt eine ähnliche Struktur wie Fig. 4, die ebenfalls aus zwei Magnetronmagneten besteht. Hier sind die Magnete aber beweglich gelagert. Die erste Hälfte des Prozesses wird mit abgesenktem rechten Magneten durchgeführt, die zweite Hälfte mit abgesenktem linken. Aufgrund des räumlichen Ab-
20 falls des Magnetfeldes wirkt dieses nicht auf die Kammer und das Plasma in der erhöhten Position. Optional kann alternativ oder zusätzlich zum Absenken eine Abschirmung des Magnetfeldes vorgesehen sein, wobei dann zwischen Magnet und Target eine Abschirmeinrichtung eingeschoben würde.

25 In Fig. 6 wird nur ein Magnetronmagnet vorgeschlagen, der aber symmetrisch gearbeitet ist. Durch einen Umklappvorgang in der zweiten Hälfte des Prozesses kommt es zur gewünschten Umpolung des magnetischen Feldes

30 Als neuer Prozess wird u. a. vorgeschlagen, die PVD-Schichtabscheidung in zwei Kammern mit Magnetronmagneten unterschiedlicher Polung durchzuführen.

Nachfolgend wird die Erfindung anhand bevorzugter Ausführungsformen anhand der beigefügten Figuren näher erläutert.

5 Fig. 1 ist eine schematische und teilweise geschnittene Seitenansicht einer ersten Ausführungsform der erfindungsgemäßen PVD-Vorrichtung.

Fig. 2 verdeutlicht den Zusammenhang zwischen Flugrichtung ionisierter Prozessgasbestandteile und der Anwesenheit eines Magnetfeldes in Form eines Graphen.

15 Fig. 3A und 3B zeigen die Verhältnisse des Materialabtrags am Target in Abhängigkeit von der Anwesenheit eines rotierenden Magnetfeldes.

20 Fig. 4 zeigt eine weitere Ausführungsform einer erfindungsgemäßen PVD-Vorrichtung.

Fig. 5A, 5B zeigen zwei Zustände bei einer weiteren Ausführungsform einer erfindungsgemäßen PVD-Vorrichtung.

25 Fig. 6A und 6B zeigen zwei Zustände bei einer anderen Ausführungsform der erfindungsgemäßen PVD-Vorrichtung.

30 Fig. 1 zeigt anhand einer schematischen und teilweise geschnittenen Seitenansicht eine erste Ausführungsform der erfindungsgemäßen PVD-Vorrichtung 1.

Bei dieser PVD-Vorrichtung 1 ist in einem Prozessbereich 50, z. B. in einem Rezipienten, auf der einen Seite ein Target 30

eines abzuscheidenden Materials vorgesehen. Dem Target 30 gegenüberstehend ist ein zu beschichtendes Substrat 40 im Prozessbereich 50 eingebracht. Vorangehend und nachfolgend werden Target 30 und Substrat 40 auch als Targetbereich 30 bzw. als Substratbereich 40 bezeichnet, beide Bezeichnungen werden synonym verwandt. Die Anordnung aus Prozessbereich 50, Targetbereich 30 und Substratbereich 40 ist bezüglich einer Symmetrieachse R zylindersymmetrisch aufgebaut. Auf der vom Prozessbereich 50 abgewandten Seite des Targetbereichs 30 ist eine Magnetfeldeinrichtung 10 mit einer einzelnen Magneteinrichtung 11 vorgesehen. Die Magneteinrichtung 11 ist in der Ausführungsform der Fig. 1 ein Magnet mit einem Südpol auf der linken und einem Nordpol auf der rechten Seite. Die Magneteinrichtung 11 ist bezüglich einer Körperachse Σ spiegelsymmetrisch aufgebaut. Die Magneteinrichtung 11 selbst kann um die Rotationsachse R in eine Rotationsbewegung r versetzt werden. Bei der in Fig. 1 angezeigten Ausrichtung bewegt sich bei der Rotation der Magneteinrichtung 11 um die Achse R der Südpol S der Magneteinrichtung 11 immer auf der Innenseite, während der Nordpol N der Magneteinrichtung 11 immer auf der Außenseite läuft. Durch eine Rotation oder durch ein Verklappen um die Körperachse Σ der Magneteinrichtung 11 gemäß der Klapprichtung oder Rotationsrichtung σ kann die Magneteinrichtung 11 zu dem in Fig. 1 gezeigten Polarisationszustand entgegengesetzt ausgerichtet werden, so dass sich die in runden Klammern angegebene Ausrichtung ergibt, wobei dann der Nordpol N der Magneteinrichtung 11 nicht mehr an der Rotationsachse R angeordnet ist und wobei der Südpol S der Magneteinrichtung 11 von der Rotationsachse R abgewandt angeordnet ist.

Zwischen dem Targetbereich 30 und dem Substratbereich 40 wird beim Ausführen des erfindungsgemäßen PVD-Verfahrens mittels der erfindungsgemäßen PVD-Vorrichtung 1 ein elektrisches Feld

E ausgebildet. Gleichzeitig erzeugt die Magnetfeldeinrichtung 10 mit ihrer einzelnen Magneteinrichtung 11 ein magnetisches Feld B. Letzteres wird durch Rotation um die Achse R in Richtung r über dem Targetbereich 30 rotiert. Durch Wechseln der Ausrichtungen gemäß dem Verklappen oder dem Rotieren um die Körperachse Σ kann dann eine Symmetrisierung in Bezug auf die jeweiligen Sektoren oder Bereiche des Targetbereichs 30 und/oder des Substratbereichs 40 erfindungsgemäß erzeugt werden.

Fig. 2 zeigt in Form eines Graphen eine Häufigkeitsverteilung der Prozessgasteilchen im Rezipienten oder im Prozessbereich 50, welche auf dem Target 30 auftreffen, für den Fall, dass als Prozessgas Argon verwendet wird. Die Kurve A der Fig. 2 zeigt dabei die Ionenverteilung an Argonionen für den Fall eines verschwindenden Magnetfeldes. Man erkennt, dass die Häufigkeit um den Ursprung, d. h. um einen Winkel von 0° , welcher der Normalen auf dem Targetbereich 30 entspricht, herum konzentriert ist, und zwar in im Wesentlichen symmetrischer Form. Die gestrichelte Kurve B zeigt dagegen die Argonionenverteilung als Funktion des Winkels bezüglich der Normalen auf der Targetoberfläche beim Anlegen einer magnetischen Flussdichte $B = 500 \text{ G}$. Man erkennt deutlich, dass die Häufigkeit um einen Winkel von etwa -5° in Bezug auf die Normale des Targets konzentriert ist, also in Bezug auf die Normale bei 0° asymmetrisch verläuft.

Die vorliegende Erfindung ist bemüht, diese asymmetrische Verteilung bei der Verwendung eines rotierenden Magnetfeldes im Rahmen eines PVD-Verfahrens zu vermeiden.

Fig. 3 verdeutlicht, dass aufgrund der Richtungsverteilung gemäß Fig. 2 auch eine Richtungsverteilung in Bezug auf den Materialabtrag am Target 30 die Folge ist.

Fig. 3A entspricht dabei dem Yield oder Materialabtrag Y1, Y2 für den Fall eines verschwindenden rotierenden Magnetfeldes. Dies entspricht somit der Situation der Kurve A aus Fig. 2.

- 5 Der Teilchenstrom P an Prozessgasionen trifft dabei parallel zur Normalen n des Targets 30 auf das Target 30 auf. Aufgrund der kinetischen Energie der Prozessgasionen P werden Bestandteile des Substratbereichs 30 aus der Oberfläche herausgeschlagen und verlassen den Targetbereich 30 in Bezug auf die Normale n in symmetrischer Art und Weise, was durch die symmetrische Yield-Wolke Y2 verdeutlicht wird.

Bei der Fig. 3B ist der Ionenstrom P an Prozessgasionen um einen Winkel α zur Normalen n des Targetbereichs 30 geneigt.

- 15 Die beim Herausschlagen entstehenden Yield-Wolken Y1 und Y2 sind entsprechend asymmetrisch ausgebildet, und zwar derart, dass die Yield-Wolke Y1 in Richtung r der Rotation gegenüber der Situation der Fig. 3A verstärkt ausgeprägt ist, während die rückwärtige Yield-Wolke Y2 gegenüber der Situation aus
20 Fig. 3A ohne Magnetfeld vermindert ausgeprägt ist.

Diese Problematik wird durch die vorliegende Erfindung vermieden.

- 25 Fig. 4 zeigt ebenfalls in schematischer und seitlicher Querschnittsansicht eine weitere Ausführungsform der erfindungsgemäßen PVD-Vorrichtung. Hierbei weist die Magnetfeldeinrichtung 10 eine erste Magneteinrichtung 11 und eine zweite Magneteinrichtung 12 auf. Die erste und zweite Magneteinrichtung 11 und 12 stehen sich in Bezug auf die Rotationsachse R
30 diametral gegenüber. Sie sind entgegengesetzt zueinander polarisiert, weisen aber ansonsten gleiche Eigenschaften auf. Im Betrieb werden die erste und zweite Magneteinrichtung 11 und 12 gemeinsam und relativ zueinander fixiert um die Rota-

tionsachse R auf der vom Prozessbereich 50 abgewandten Seite des Targets 30 rotiert. Aufgrund der entgegengesetzt orientierten Ausrichtung der beiden Magneteinrichtungen 11 und 12 ergibt sich im zeitlichen Mittel in jedem Bereich oder Sektor des Targetbereichs 30 außerhalb der Rotationsachse R gemittelt eine symmetrische Feldverteilung, wodurch im Mittel die Yield-Asymmetrie oder die Asymmetrie des Materialabtrags am Target 30 verhindert wird.

Die Fig. 5A und 5B zeigen zwei Betriebszustände einer anderen Ausführungsform der erfindungsgemäßen PVD-Vorrichtung. Auch hier sind wie bei der Ausführungsform der Fig. 4 bei der Magnetfeldeinrichtung 10 zwei Magneteinrichtungen 11 und 12 vorgesehen, die in Bezug aufeinander bis auf ihre asymmetrisch entgegengesetzt ausgerichtete Orientierung gleich ausgebildet sind. Im Betrieb werden, wie bei der Ausführungsform der Fig. 4, die beiden Magneteinrichtungen 11 und 12 gemeinsam und zueinander relativ fixiert um die gemeinsame Rotationsachse R auf der vom Prozessbereich 50 abgewandten Seite des Targetbereichs 30 rotiert. Dabei kommt in einer ersten Phase der Prozessführung, welche durch die Fig. 5A verdeutlicht wird, nur die erste Magneteinrichtung 11 zum Tragen, weil die zweite Magneteinrichtung 12 in Richtung der gemeinsamen Rotationsachse R verschoben und somit vom Targetbereich 30 weiter beabstandet ist als die erste Magneteinrichtung 11. Im Zustand der Fig. 5B ist der Fall dagegen umgekehrt. Dort nämlich ist die zweite Magneteinrichtung 12 an das Target angenähert, während die erste Magneteinrichtung nunmehr in Richtung der gemeinsamen Rotationsachse R verschoben und somit vom Targetbereich 30 beabstandet angeordnet ist, so dass deren Feldkomponente B₁ in dieser Prozessphase nicht zum Tragen kommt.

Die Fig. 6A und 6B zeigen eine andere Ausführungsform der erfindungsgemäßen PVD-Vorrichtung. Bei diese Ausführungsform ist aber wiederum nur eine einzige Magneteinrichtung 11 bei der Magnetfeldeinrichtung vorgesehen. Jedoch ist hier die einzelne Magneteinrichtung 11 spiegelsymmetrisch zu einer Körperachse Σ ausgebildet, welche hier in die Zeichenebene zeigt und somit senkrecht verläuft in Richtung der Rotationsachse R. Die Magneteinrichtung 11 der Ausführungsform der Fig. 6A und 6B vereinigt somit in sich zwei Magnete entgegengesetzt orientierter Ausrichtung. Im Prozesszustand der Fig. 6A ist die erste Seite dem Targetbereich 30 nahegebracht, bei welcher ein Südpol S in der Nähe der Rotationsachse R liegt und ein Nordpol N von ihr abgewandt angeordnet ist. In diesem Zustand wird für eine erste Zeitspanne T1 der Magnet um die Achse R rotiert. Für eine zweite Zeitspanne T2, die aus Symmetriegründen nicht wesentlich verschieden sein darf von der ersten Zeitspanne T1, wird dann die Anordnung der Fig. 6B gewählt, um dann die Magneteinrichtung 11 wiederum um die Achse R über dem Targetbereich 30 zu rotieren. Man gelangt zur Anordnung der Fig. 6B, indem man die Magneteinrichtung 11 aus dem Zustand der Fig. A herüberklappt in den Zustand der Fig. 6B, wie das gestrichelt angedeutet ist. Sind die Zeitspannen des Rotierens der Magneteinrichtung 11 im Zustand der Fig. 6A und im Zustand der Fig. 6B in etwa gleich, so ergibt sich im zeitlichen Mittel außerhalb der Rotationsachse R in Bereichen oder Sektoren des Targetbereichs 30 und/oder des Substratbereichs 40 ein im Wesentlichen symmetrisches Feld, auch wenn für jeden der einzelnen Prozessabschnitte 6A und 6B die Feldverteilung in diesen Bereich asymmetrisch ist.

Patentansprüche

1. PVD-Verfahren mit den Schritten:

- Bereitstellen eines Targetbereichs (30) und eines Substratbereichs (40) in einem Prozessbereich (50),
- Ausbilden eines elektrischen Feldes (E) zwischen dem Targetbereich (30) und dem Substratbereich (40) und
- dadurch teilweises Ionisieren von Prozessgasbestandteilen im Prozessbereich (40), Beschleunigen ionisierter Prozessgasbestandteile auf den Targetbereich (30) zu, Heraus- schlagen von Targetbestandteilen mittels Prozessgasbestandteile und teilweises Abscheiden herausgeschlagener Targetbestandteile auf dem Substratbereich (40),
- wobei ein Magnetfeld (B) erzeugt und insbesondere um eine den Targetbereichen (30) und den Substratbereichen (40) verbindend durchmessende Achse oder Symmetrieachse als Rotationsachse (R) rotiert wird und
- wobei ein Magnetfeld (B) verwendet wird, welches insbesondere außerhalb seiner Rotationsachse (R) in Bereichen oder Sektoren des Targetbereichs (30) und/oder des Substratbereichs (40) zumindest im zeitlichen Mittel im Wesentlichen verschwindend ausgebildet ist oder wird.

2. PVD-Verfahren nach Anspruch 1,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

- dass als Magnetfeld (B) eine Kombination aus mindestens einer ersten Magnetfeldkomponente (B1) und mindestens einer zweiten Magnetfeldkomponente (B2) verwendet wird und
- dass die ersten und zweiten Magnetfeldkomponenten (B1, B2) zueinander direkt entgegengesetzt polarisiert oder gerichtet, ansonsten aber im Wesentlichen gleich ausgebildet sind oder werden.

3. PVD-Verfahren nach Anspruch 2,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Magnetfeldkomponenten (B1, B2) gleichzeitig erzeugt
und/oder verwendet werden.

5

4. PVD-Verfahren nach Anspruch 3,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Magnetfeldkomponenten (B1, B2) in Bezug auf die Ro-
tationsachse (R) diametral gegenüber liegend und antisymmet-
risch zueinander erzeugt und/oder angeordnet sind oder wer-
den.

5. PVD-Verfahren nach Anspruch 2,
dadurch gekennzeichnet,
15 dass die Magnetfeldkomponenten (B1, B2) zeitlich getrennt zu-
einander erzeugt und/oder angeordnet sind oder werden.

6. PVD-Verfahren nach Anspruch 5,
dadurch gekennzeichnet,
20 dass erste und zweite Zeitspannen (T1, T2) der getrennten
Verwendung und/oder Erzeugung der Magnetfeldkomponenten (B1,
B2) einzeln oder in ihrer jeweiligen Summe in etwa gleich zu-
einander gewählt werden.

25 7. PVD-Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 6,
dadurch gekennzeichnet,
dass die zweite oder erste Magnetfeldkomponente (B2, B1) je-
weils aus der ersten bzw. zweiten Magnetfeldkomponente (B1,
B2) durch Umpolen, Umdrehen oder Anordnen einer jeweils ver-
30 wendeten Magnetfeldeinrichtung (10) erzeugt werden.

8. PVD-Vorrichtung, insbesondere zur Durchführung des PVD-
Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 7,

-
- 5 - mit einem Targetbereich (30) und einem Substratbereich (40), welche in einem Prozessbereich (50) mit einem Prozessgas zueinander räumlich beabstandet angeordnet sind und zwischen denen ein elektrisches Feld (E) erzeugbar ist, und
- 10 - mit einer Magnetfeldeinrichtung (10), durch welche ein Magnetfeld (B) zumindest im Bereich des Targetbereichs (30) und/oder des Substratbereichs (40) erzeugbar und insbesondere um eine den Targetbereich (30) und den Substratbereich (40) verbindend durchmessende Achse oder Symmetrieachse als Rotationsachse (R) rotierbar ist,
- 15 - wobei durch die Magnetfeldeinrichtung (10) das Magnetfeld (B) insbesondere außerhalb der Rotationsachse (R) in Bereichen oder Sektoren des Targetbereichs (30) und/oder des Substratbereichs (40) zumindest im zeitlichen Mittel im Wesentlichen verschwindend ausbildbar ist.

9. PVD-Vorrichtung nach Anspruch 8,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

- 20 - dass die Magnetfeldeinrichtung (10) zur Erzeugung mindestens einer Magnetfeldkomponente (B1) und mindestens einer zweiten Magnetfeldkomponente (B2) derart ausgebildet ist,
- dass die Magnetfeldkomponente (B1, B) zueinander direkt entgegengesetzt polarisiert, ansonsten aber im Wesentlichen
- 25 gleich ausbildbar sind.

10. PVD-Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 oder 9,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

30 dass die Magnetfeldeinrichtung (10) mindestens eine erste und mindestens eine zweite Magnetfeldeinrichtung (11, 12) aufweist.

11. PVD-Vorrichtung nach Anspruch 10,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass die ersten und zweiten Magnetfeldeinrichtungen (11, 12) zueinander entgegengesetzt polarisiert oder polarisierbar ausgebildet, angeordnet oder anordenbar sind.

5 12. PVD-Vorrichtung nach Anspruch 11,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass die ersten und zweiten Magneteinrichtungen (11, 12) in Bezug auf die Rotationsachse (R) diametral gegenüberliegend angeordnet oder anordenbar sind.

13. PVD-Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 12,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass die Magnetfeldeinrichtung (10) um die Rotationsachse (R) rotierbar ausgebildet ist, insbesondere oberhalb des Target-
15 bereichs (30) außerhalb des Prozessbereichs (50).

14. PVD-Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 13,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
- dass eine einzige Magneteinrichtung (11) vorgesehen ist,
20 - dass die Magneteinrichtung (11) um eine Körperachse (S) der Magneteinrichtung (11) zumindest zwischen einer ersten (S1) und einer zweiten Stellung (S2) bewegbar oder rotierbar ausgebildet ist, und
- dass in der ersten Stellung (S1) im Wesentlichen eine ers-
25 te Magnetfeldkomponente (B1) und in der zweiten Stellung (S2) im Wesentlichen eine zweite Magnetfeldkomponente (B2) erzeugbar sind, wobei die Magnetfeldkomponenten (B1, B2) zueinander direkt entgegengesetzt ausgerichtet oder polarisiert sind.

30 15. PVD-Vorrichtung nach Anspruch 14,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass die Körperachse (S) der Magneteinrichtung (11) zur Rotationsachse (R) parallel oder senkrecht ausgebildet ist.

16. PVD-Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 15,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Magnetfeldeinrichtung (10) und insbesondere die Ma-
gneteinrichtung (11, 12) jeweils eine individuelle Magnet-
5 feldabschirmeinrichtung (15, 16) aufweisen, durch welche das
jeweilige Magnetfeld (B, B1, B2) oder die jeweilige Magnet-
feldkomponente (B1, B2) abschirmbar ist, insbesondere gegen-
über dem Targetbereich (30).

17. PVD-Vorrichtung nach Anspruch 16,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Magnetfeldabschirmeinrichtung (15, 16) ein magne-
tisch hoch permeables Material aufweist.

15 18. PVD-Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 17,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Magnetfeldeinrichtung (10) und insbesondere die Ma-
gneteinrichtungen (11, 12) in Richtung der Rotationsachse (R)
des Magnetfeldes (B) verschiebbar ausgebildet sind, insbeson-
20 dere zwischen einer ersten und dem Targetbereich (30) angenä-
herten Stellung (S1) und einer zweiten und dem Targetbereich
(30) entfernten Stellung (S2).

19. PVD-Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 18,
25 dadurch gekennzeichnet,
dass die Magnetfeldeinrichtung (10) und insbesondere die ers-
ten und zweiten Magneteinrichtungen (11, 12) als Permanent-
magnete oder Anordnungen von Permanentmagneten ausgebildet
sind.

30

20. PVD-Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 19,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Magnetfeldeinrichtung (10) und insbesondere die ers-
ten und zweiten Magneteinrichtungen (11, 12) als stromdurch-

flossene Leiter, insbesondere als Spulen, oder als Anordnungen von stromdurchflossenen Leitern oder Spulen ausgebildet sind.

- 5 21. PVD-Vorrichtung nach Anspruch 20,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass die stromdurchflossenen Leiter oder Spulen in gesteuerter Art und Weise und unabhängig voneinander mit elektrischen Strömen beaufschlagbar sind, und dass dadurch insbesondere ein rotierendes und in der Ausrichtung steuerbares Magnetfeld ausbildbar ist.

Zusammenfassung

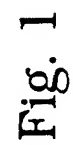
PVD-Verfahren und PVD-Vorrichtung

- 5 Zur Erzielung einer möglichst gleichmäßigen Beschichtung wird bei einem PVD-Verfahren und bei einer PVD-Vorrichtung, bei welchen zur Erhöhung der Ausbeute ein rotierendes Magnetfeld eingesetzt wird, vorgeschlagen, ein Magnetfeld (B) zu verwenden, welches außerhalb einer Rotationsachse (R) des Magnetfeldes (B) in Sektoren des Targetbereichs (30) der PVD-Vorrichtung (1) zumindest im zeitlichen Mittel im Wesentlichen verschwindend ausgebildet wird.

(Fig. 1)

Bezugszeichenliste

1	PVD-Vorrichtung
10	Magnetfeldeinrichtung
5 11	Erste Magnetfeldeinrichtung
12	Zweite Magnetfeldeinrichtung
30	Targetbereich, Target,
40	Substratbereich, Substrat
50	Prozessbereich, Rezipient
10 α	Winkel zwischen Prozessgasionenstrom und Targetnormaler
B	Magnetfeld, magnetische Flussdichte
E	Elektrisches Feld, elektrische Feldstärke
S	Magnetischer Südpol
15 N	Magnetischer Nordpol
n	Normale auf dem Target
P	Prozessgasionenstrom
R	Rotationsachse
r	Rotationsrichtung
20 Σ	Körperachse
σ	Rotationsrichtung
Y1	Yield-Wolke, Materieabtrag
Y2	Yield-Wolke, Materieabtrag



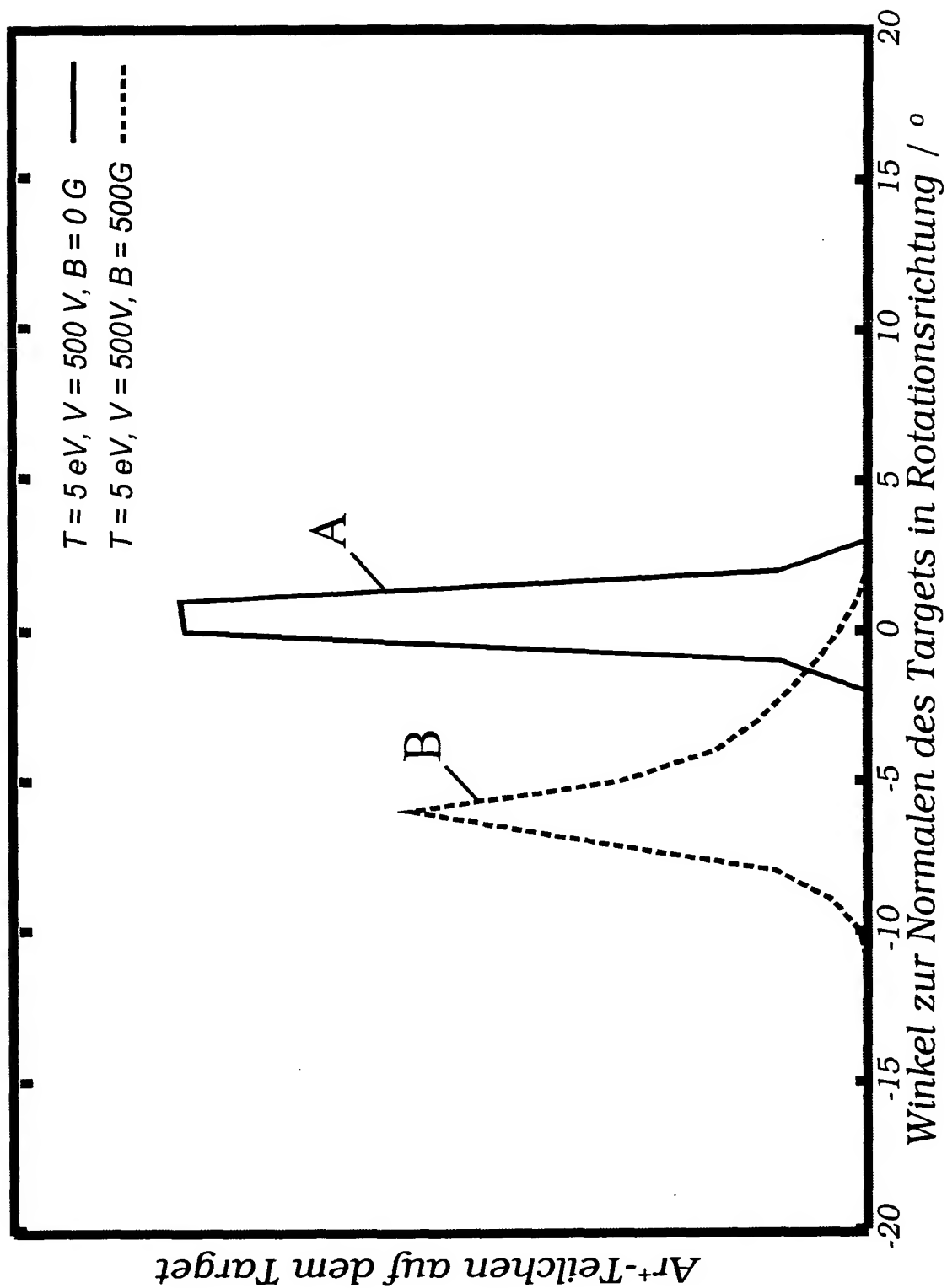


Fig. 2

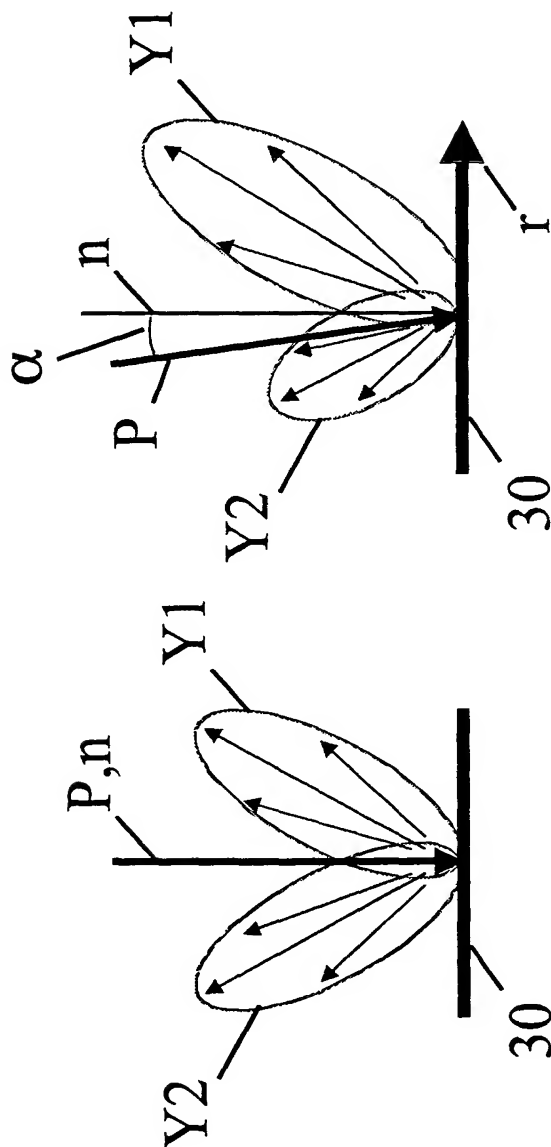


Fig. 3B

Fig. 3A

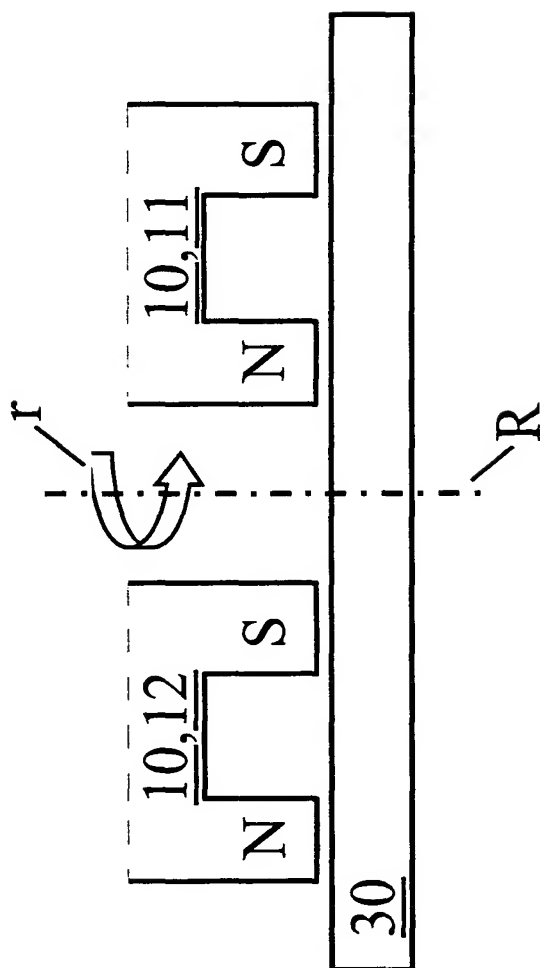


Fig. 4

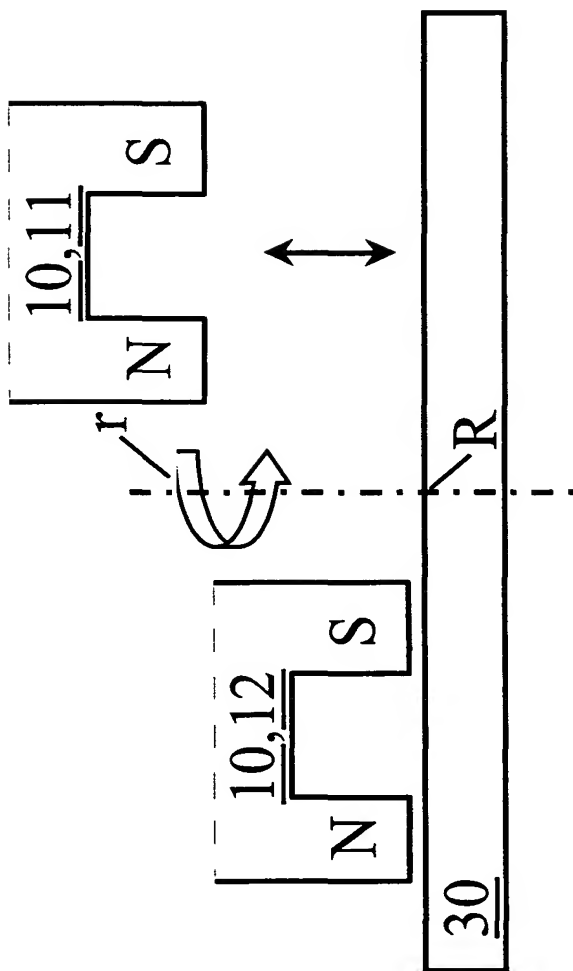


Fig. 5A

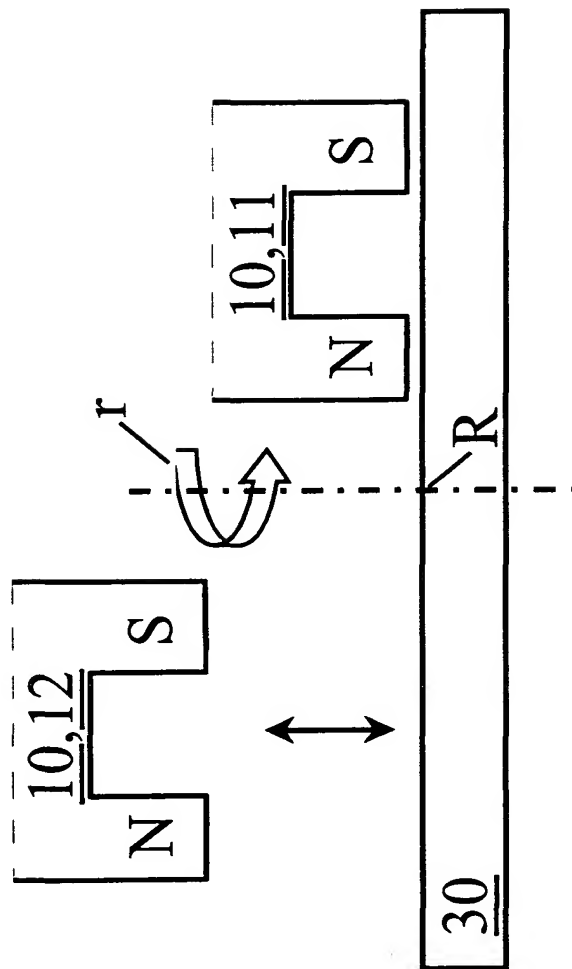
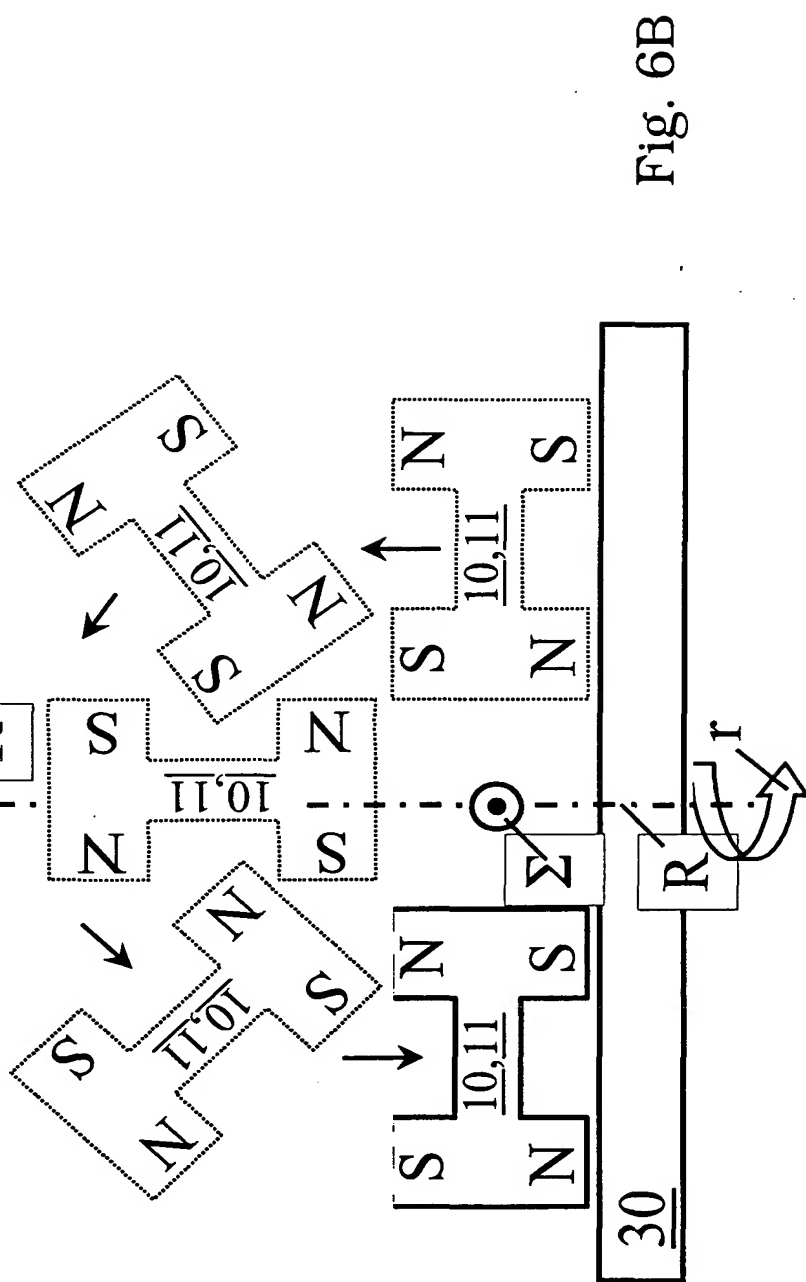
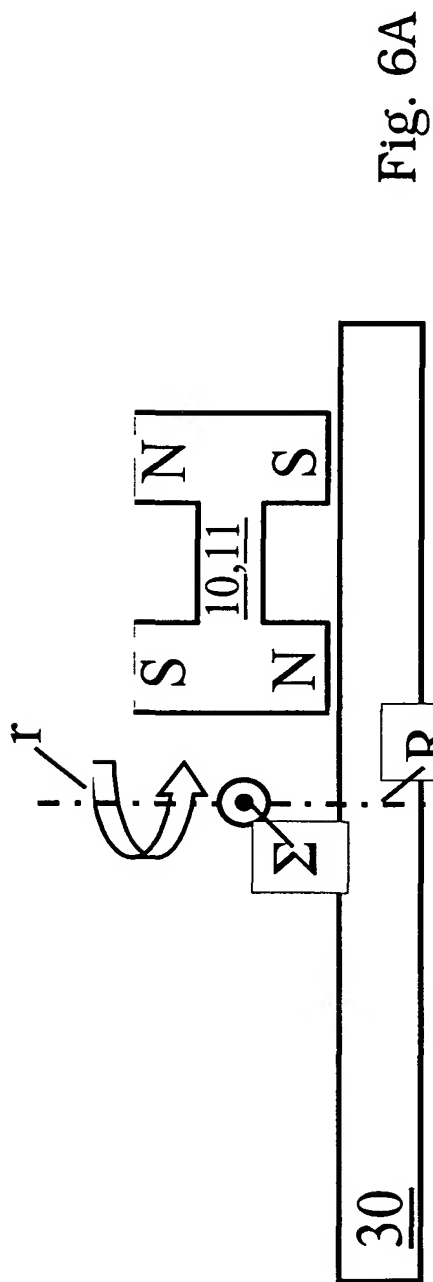


Fig. 5B



Figur für die Zusammenfassung

